

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **06331842 A**

(43) Date of publication of application: **02 . 12 . 94**

(51) Int. Cl.

G02B 6/12
G05D 25/00

(21) Application number: **05118334**

(22) Date of filing: **20 . 05 . 93**

(71) Applicant: **NIPPON TELEGR & TELEPH
CORP <NTT>**

(72) Inventor: **TAKIGUCHI KOICHI
OKAMOTO KATSUNARI
SUZUKI SENTA**

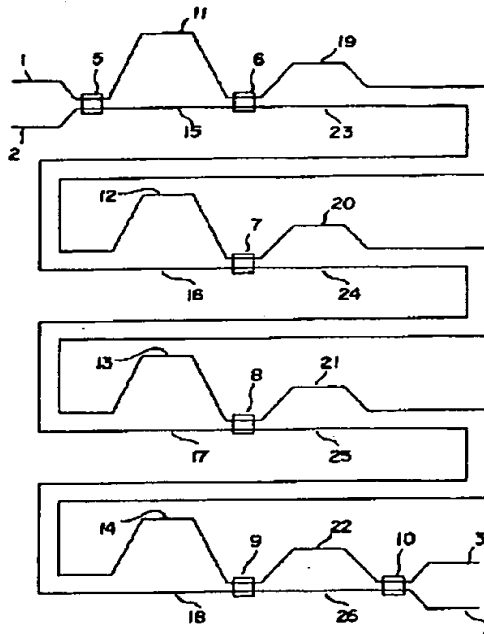
(54) LIGHT DISPERSION EQUALIZER

(57) Abstract:

PURPOSE: To cancel the dispersion of optical fibers without transforming an optical signal into an electric signal.

CONSTITUTION: Directional couplers 6, 7, 8, and 9 each of which has two input ports different in length and two output ports different in length have longer ports mutually cascaded in many stages and have shorter ports mutually cascaded in many stages, and a directional coupler 5 which has two output ports having the same length is connected in the preceding stage, and a directional coupler 10 which has two input ports having the same length is connected in the succeeding stage, thus constituting a multistage asymmetrical Mach-Zehnder interferometer. The number of stages of cascading of directional couplers 6, 7, 8, and 9 each of which has two input ports different in length and has two output ports different in length is set to a multiple of 4 or (a multiple of 4)-1.

COPYRIGHT: (C)1994,JPO



Best Available Copy

(19)日本国特許庁(JP)

(12)公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平 6 - 3 3 1 8 4 2

(43)公開日 平成6年(1994)12月2日

(51)Int. Cl.⁵

G 0 2 B 6/12

G 0 5 D 25/00

識別記号

D 8106-2 K

8610-3 H

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数 4

O L

(全 1 4 頁)

(21)出願番号 特願平5-118334

(22)出願日 平成5年(1993)5月20日

(71)出願人 000004226

日本電信電話株式会社

東京都千代田区内幸町一丁目1番6号

(72)発明者 瀧口 浩一

東京都千代田区内幸町一丁目1番6号 日本
電信電話株式会社内

(72)発明者 岡本 勝就

東京都千代田区内幸町一丁目1番6号 日本
電信電話株式会社内

(72)発明者 鈴木 扇太

東京都千代田区内幸町一丁目1番6号 日本
電信電話株式会社内

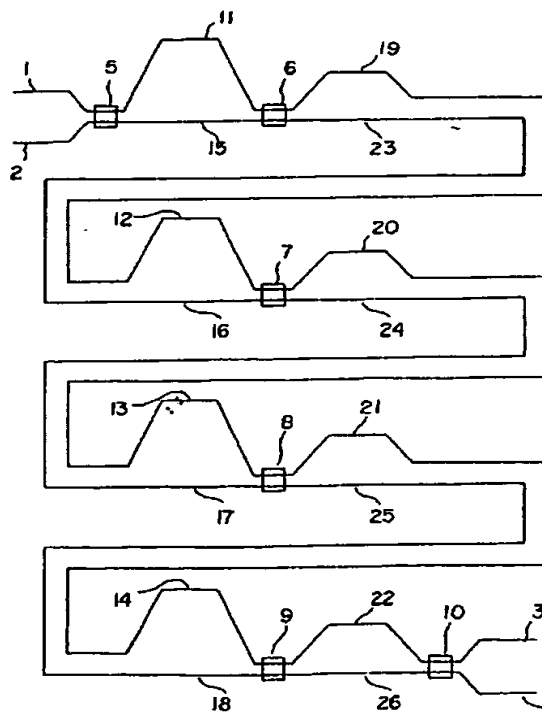
(74)代理人 弁理士 光石 俊郎 (外1名)

(54)【発明の名称】 光分散等化器

(57)【要約】

【目的】 光信号を電気信号に変換することなく、光ファイバの分散を相殺すること。

【構成】 2本の入力ポートの長さが互いに異なり且つ2本の出力ポートの長さが互いに異なる方向性結合器6, 7, 8, 9を、長さの長いポートは長いようにして且つ長さの短いポートは短いようにして多段に縦続接続し、その前段に2本の出力ポートの長さが等しい方向性結合器5を接続し且つ後段に2本の入力ポートの長さが等しい方向性結合器10を接続して、多段の非対称マッハツェンダ型干渉計を構成し、前記2本の入力ポートの長さが互いに異なり且つ2本の出力ポートの長さが互いに異なる方向性結合器6, 7, 8, 9の縦続接続の段数を、4の整数倍の数、あるいは4の整数倍から1を引いた数とする。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 2本の入力ポートの長さが互いに異なり且つ2本の出力ポートの長さが互いに異なる方向性結合器を、長さの長いポートは長いポートどうして且つ長さの短いポートは短いポートどうして多段に縦続接続し、その前段に2本の出力ポートの長さが等しい方向性結合器を接続し且つ後段に2本の入力ポートの長さが等しい方向性結合器を接続して、多段の非対称マッハツェンダ型干渉計を構成する光回路において、前記2本の入力ポートの長さが互いに異なり且つ2本の出力ポートの長さが互いに異なる方向性結合器の縦続接続の段数が、4の整数倍の数、あるいは4の整数倍から1を引いた数であることを特徴とする光分散等化器。

【請求項2】 2本の入力ポートの長さが互いに異なり且つ2本の出力ポートの長さが互いに異なる方向性結合器を多段に縦続接続し、その前段に2本の出力ポートの長さが等しい方向性結合器を接続し且つ後段に2本の入力ポートの長さが等しい方向性結合器を接続して、多段の非対称マッハツェンダ型干渉計を構成する光回路において、

光回路上の適当な位置で、非対称マッハツェンダ型干渉計の2本のアームそれぞれに弱い光結合を起す程度に他の光導波路を近接させることによって方向性結合器を構成し、更にその方向性結合器の構成に用いた2本の光導波路どうしを互いに光結合を起す程度に近接させて方向性結合器を構成することを特徴とする光分散等化器。

【請求項3】 2本の入力ポートの長さが互いに異なり且つ2本の出力ポートの長さが互いに異なる方向性結合器を多段に縦続接続し、その前段に2本の出力ポートの長さが等しい方向性結合器を接続し且つ後段に2本の入力ポートの長さが等しい方向性結合器を接続して、多段の非対称マッハツェンダ型干渉計を構成する光回路において、

光回路上の適当な位置で、非対称マッハツェンダ型干渉計の2本のアームと他の2本の光導波路とを用いて一方の光導波路上にヒータを付着したマッハツェンダ型干渉計を2つ構成し、その2つのマッハツェンダ型干渉計の4本の出力ポートのうち非対称マッハツェンダ型干渉計の構成に用いられていない2本のポートどうしを互いに光結合を起す程度に近接させて方向性結合器を構成することを特徴とする光分散等化器。

【請求項4】 2本の入力ポートの長さが互いに異なり且つ2本の出力ポートの長さが互いに異なる方向性結合器を多段に縦続接続し、その前段に2本の出力ポートの長さが等しい方向性結合器を接続し且つ後段に2本の入力ポートの長さが等しい方向性結合器を接続して、多段の非対称マッハツェンダ型干渉計を構成する光回路において、

光回路上の適当な位置で、非対称マッハツェンダ型干渉計の2本のアームと他の2本の光導波路とを用いて一方

の光導波路上にアモルファスシリコンを付着したマッハツェンダ型干渉計を2つ構成し、その2つのマッハツェンダ型干渉計の構成に用いられていない2本のポートどうしを互いに光結合を起す程度に近接させて方向性結合器を構成することを特徴とする光分散等化器。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、分散を有する光ファイバ等を伝搬して歪を受けた光信号を波形整形する、即ち、周波数が異なる信号光の遅れ歪を矯正する光分散等化器に関する。

【0002】

【従来の技術】波長 $\lambda = 1.3 \mu\text{m}$ に零分散を有する光ファイバ（日本縦貫光通信回線等、既設の殆どの光ファイバがこのタイプである）を、最低損失帯である波長 $\lambda = 1.55 \mu\text{m}$ で使用する場合、光ファイバの分散のために光信号周波数 f が高くなるにつれて、伝搬速度が速く即ち伝搬遅延時間 τ が小さくなる。そのため、光信号パルスの遅れ歪が大きくなるので、伝送容量あるいは伝送距離、中継距離が制限される。

【0003】そこで、分散を有する光ファイバを伝搬して歪を受けた信号を波形整形するために分散等化器が必要であり、従来、図12に示すようなマイクロ波ストリップラインが知られている。

【0004】図12に示すように、マイクロ波ストリップラインは幅狭の金属導体100と幅広の金属導体101とで誘電体102を挟んでなる。マイクロ波ストリップラインの伝搬遅延特性は図13に示すようなものであり、信号周波数 f が高くなるにつれて、伝搬遅延時間 τ が大きくなる（伝搬速度が遅くなる）。なお、図12及び図13において、 L_{ms} はマイクロ波ストリップラインの長さを示す。

【0005】図13に示した如くマイクロ波ストリップラインの伝搬遅延特性は前述した光ファイバの伝搬遅延特性とは逆であるので、光ファイバを伝搬した光信号を光電変換器（光検出器）により電気信号に変換した後、この電気信号を適当な長さ L_{ms} のマイクロ波ストリップラインに通すことにより、光ファイバの分散を相殺することができる。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】上述した従来の分散等化器では、光信号を一旦電気信号に変換した後に波形整形するために、下記(1)～(3)等の問題がある。

(1) 全光中継を行うことができない。

(2) 信号周波数 f が高くなると、マイクロ波ストリップラインの損失が増加する。

(3) ヘテロダイン検波を行うコヒーレント光伝送にしか適用することができない。

【0007】本発明は上記従来技術の問題点を解消するためになされたものであり、分散を有する光ファイバを

10

20

30

40

50

伝搬して遅れ歪を受けた信号を、光信号のままで波形整形することを可能とし、大容量・長距離の光通信に適した光分散等化器を提供することを目的とする。

【0008】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成する請求項1の発明の光分散等化器は、2本の入力ポートの長さが互いに異なり且つ2本の出力ポートの長さが互いに異なる方向性結合器を、長さの長いポートは長いポートどうしで且つ長さの短いポートは短いポートどうしで多段に縦続接続し、その前段に2本の出力ポートの長さが等しい方向性結合器を接続し且つ後段に2本の入力ポートの長さが等しい方向性結合器を接続して、多段の非対称マッハツェンダ型干渉計を構成する光回路において、前記2本の入力ポートの長さが互いに異なり且つ2本の出力ポートの長さが互いに異なる方向性結合器の縦続接続の段数が、4の整数倍の数、あるいは4の整数倍から1を引いた数であることを特徴とする。

【0009】また、上記目的を達成する請求項2の発明の光分散等化器は、2本の入力ポートの長さが互いに異なり且つ2本の出力ポートの長さが互いに異なる方向性結合器を多段に縦続接続し、その前段に2本の出力ポートの長さが等しい方向性結合器を接続し且つ後段に2本の入力ポートの長さが等しい方向性結合器を接続して、多段の非対称マッハツェンダ型干渉計を構成する光回路において、光回路上の適当な位置で、非対称マッハツェンダ型干渉計の2本のアームそれぞれに弱い光結合を起す程度に他の光導波路を近接させることによって方向性結合器を構成し、更にその方向性結合器の構成に用いた2本の光導波路どうしを互いに光結合を起す程度に近接させて方向性結合器を構成することを特徴とする。

【0010】更に、上記目的を達成する請求項3の発明の光分散等化器は、2本の入力ポートの長さが互いに異なり且つ2本の出力ポートの長さが互いに異なる方向性結合器を多段に縦続接続し、その前段に2本の出力ポートの長さが等しい方向性結合器を接続し且つ後段に2本の入力ポートの長さが等しい方向性結合器を接続して、多段の非対称マッハツェンダ型干渉計を構成する光回路において、光回路上の適当な位置で、非対称マッハツェンダ型干渉計の2本のアームと他の2本の光導波路とを用いて一方の光導波路上にヒータを付着したマッハツェンダ型干渉計を2つ構成し、その2つのマッハツェンダ型干渉計の4本の出力ポートのうち非対称マッハツェンダ型干渉計の構成に用いられていない2本のポートどうしを互いに光結合を起す程度に近接させて方向性結合器を構成することを特徴とする。

【0011】更に、上記目的を達成する請求項4の発明の光分散等化器は、2本の入力ポートの長さが互いに異なり且つ2本の出力ポートの長さが互いに異なる方向性結合器を多段に縦続接続し、その前段に2本の出力ポートの長さが等しい方向性結合器を接続し且つ後段に2本

の入力ポートの長さが等しい方向性結合器を接続して、多段の非対称マッハツェンダ型干渉計を構成する光回路において、光回路上の適当な位置で、非対称マッハツェンダ型干渉計の2本のアームと他の2本の光導波路とを用いて一方の光導波路上にアモルファスシリコンを付着したマッハツェンダ型干渉計を2つ構成し、その2つのマッハツェンダ型干渉計の構成に用いられていない2本のポートどうしを互いに光結合を起す程度に近接させて方向性結合器を構成することを特徴とする。

【0012】

【作用】2本の入力ポートの長さが互いに異なり且つ2本の出力ポートの長さが互いに異なる方向性結合器を、長さの長い部分は長い部分どうしで且つ長さの短い部分は短い部分どうしで多段に縦続接続し、その前段に2本の出力ポートの長さが等しい方向性結合器を接続し且つ後段に2本の入力ポートの長さが等しい方向性結合器を接続して、多段の非対称マッハツェンダ型干渉計を構成する光回路においては、非対称マッハツェンダ型干渉計の2本のアームの光路長差を適切な値に設定することによって、周波数の高い光は光路長の長い方のアームを通り、周波数の低い光は光路長の長い方のアームを通ることになる。そのため、光信号の周波数 f が高くなるにつれて、伝搬遅延時間 τ が大きくなる（伝搬速度が遅くなる）ので、光信号を電気信号に変換することなく、光ファイバの分散を相殺でき、遅れ歪を矯正することができる。また、請求項1の発明の光分散等化器においては、2本の入力ポートの長さが異なり且つ2本の出力ポートの長さが異なる方向性結合器の縦続接続段数を、4の整数倍の数、あるいは4の整数倍から1を引いた数に設定することにより、光信号の強度透過率が略1となる周波数範囲を広げることができる。これにより、高性能な光分散等化器を達成することができる。

【0013】請求項2の発明の光分散等化器においては、光回路上の適当な位置で、非対称マッハツェンダ型干渉計の2本のアームそれぞれに弱い光結合を起す程度に他の光導波路を近接させることによって方向性結合器を構成し、更にその方向性結合器の構成に用いた2本の光導波路どうしを互いに光結合を起す程度に近接させて方向性結合器を構成することによって、光分散等化器中の任意の位置での伝搬遅延特性の測定が可能となる。これによって、非対称マッハツェンダ型干渉計の2本のアームの光路長差を最適値に厳密に調整することが可能となり、高性能な光分散等化器を容易に達成することができる。

【0014】更に請求項3の発明の光分散等化器においては、光回路上の適当な位置で、非対称マッハツェンダ型干渉計の2本のアームと他の2本の光導波路とを用いて一方の光導波路上にヒータを付着したマッハツェンダ型干渉計を2つ構成し、その2つのマッハツェンダ型干渉計の4本の出力ポートのうち非対称マッハツェンダ型

干渉計の構成に用いられていない2本のポートどうしを互いに光結合を起す程度に近接させて方向性結合器を構成することによって、光分散等化器中の任意の位置での伝搬遅延特性の測定が可能となる。これによって、非対称マッハツェンダ型干渉計の2本のアームの光路長差を最適値に厳密に調整することが可能となり、高性能な光分散等化器を容易に達成することができる。

【0015】また更に、請求項4の発明の光分散等化器においては、光回路上の適当な位置で、非対称マッハツェンダ型干渉計の2本のアームと他の2本の光導波路とを用いて一方の光導波路上にアモルファスシリコンを付着したマッハツェンダ型干渉計を2つ構成し、その2つのマッハツェンダ型干渉計の構成に用いられていない2本のポートどうしを互いに光結合を起す程度に近接させて方向性結合器を構成することによって、光分散等化器中の任意の位置での伝搬遅延特性の測定が可能となる。これによって、非対称マッハツェンダ型干渉計の2本のアームの光路長差を最適値に厳密に調整することが可能となり、高性能な光分散等化器を容易に達成することができる。

【0016】

【実施例】以下、本発明を図面に示す実施例とともに詳細に説明する。

【0017】<請求項1の発明の実施例>図1は請求項1の発明の実施例を示し、2本の入力ポートの長さが互いに異なり且つ2本の出力ポートの長さが互いに異なる方向性結合器6、7、8、9を、長さの長いポートは長いポートどうしで且つ長さの短いポートは短いポートどうしで多段に縦続接続し、その前段に2本の出力ポートの長さが等しい方向性結合器5を接続し且つ後段に2本の入力ポートの長さが等しい方向性結合器10を接続して、多段の非対称マッハツェンダ型干渉計を構成する光回路において、2本の入力ポートの長さが互いに異なり且つ2本の出力ポートの長さが互いに異なる方向性結合

*器6、7、8、9の縦続接続の段数を、4の整数倍の数、あるいは4の整数倍から1を引いた数のうち、4と設定したものである。図1において、方向性結合器6、7、8、9は結合率50%の3dB方向性結合器であり、それぞれ、長さの長い入力ポート11、12、13、14と、長さの短い入力ポート15、16、17、18と、長さの長い出力ポート19、20、21、22と、長さの短い出力ポート23、24、25、26とを有する。また、方向性結合器5も結合率50%の3dB方向性結合器であり、各入力ポートには入力側光導波路1、2が接続されている。更に、方向性結合器10も結合率50%の3dB方向性結合器であり、各出力ポートには出力側光導波路3、4が接続されている。

【0018】ここで、(i) ΔL_1 を方向性結合器6~9の長さの長い入力ポート11、12、13、14と長さの短い入力ポート15、16、17、18との光路長差、 ΔL_2 を方向性結合器6~9の長さの長い出力ポート19、20、21、22と長さの短い出力ポート23、24、25、26との光路長差、 f を分散等化の中心光周波数、 f_L を分散等化の下限の光周波数、 f_H を分散等化の上限の光周波数、 A 、 B を偶数、 C を真空中の光速、 n を導波路の屈折率、とすると、式

(1)、(2)が満たされる場合、(ii)2つの方向性結合器5と6を結ぶ最初の非対称マッハツェンダ型干渉計の2本のアームの光路長差は ΔL_1 となり、(iii)2つの方向性結合器9と10を結ぶ最後の非対称マッハツェンダ型干渉計の2本のアームの光路長差は ΔL_2 となり、(iv)方向性結合器6と7、7と8、8と9を結ぶ非対称マッハツェンダ型干渉計の光路長差 ΔL_1 は ΔL_1 と ΔL_2 の和となり、 $A+B=2M$ (M は整数)とすると、式(1)及び(2)より、式(3)のように表わされる。

【0019】

【数1】

$$\begin{aligned}\Delta L_1 &= (A+0.5) \cdot C_0 / (2nf_0) \\ &= A \cdot C_0 / (2nf_L) \\ &= (A+1) \cdot C_0 / (2nf_H) \quad \dots \text{式(1)}\end{aligned}$$

【0020】

※ ※【数2】

$$\begin{aligned}\Delta L_2 &= (B-0.5) \cdot C_0 / (2nf_0) \\ &= (B-1) \cdot C_0 / (2nf_L) \\ &= B \cdot C_0 / (2nf_H) \quad \dots \text{式(2)}\end{aligned}$$

【0021】

★ ★【数3】

$$\begin{aligned}\Delta L_3 &= \Delta L_1 + \Delta L_2 \\ &= M \cdot C_0 / (nf_0) \\ &= (M-0.5) \cdot C_0 / (nf_L) \\ &= (M+0.5) \cdot C_0 / (nf_H) \quad \dots \text{式(3)}\end{aligned}$$

【0022】式(1)、(2)及び(3)より、今、入力側光導波路1から光を入射した場合を考えると、下限光周波数 f_L の成分はポート11あるいは15→ポート19→ポート12→ポート20あるいは24→ポート1

3あるいは17→ポート21→ポート14→ポート22あるいは26という順の経路を通り、最後には出力側光導波路4に至る。また、上限光周波数 f_H の成分はポート11あるいはポート15→ポート23→ポート16→

ポート20あるいはポート24→ポート13あるいはポート17→ポート25→ポート18→ポート22あるいは26という順の経路を通り、最後には出力側光導波路4に至る。このことは、上限光周波数 f_H の成分の方が、下限光周波数 f_L の成分よりも、アームの光路長差の総計 $2\Delta L$ に対応した群遅延時間 τ_H だけ多くの遅延を受けることを示している。また、 f_H と f_L の間の光周波数 f の成分は、下限光周波数 f_L の成分よりも、 $\tau_H (f - f_L) / (f_H - f_L)$ だけ多くの遅延を受ける。このため、図1の光分散等化器により、分散を有*10

*する光ファイバを伝播して歪を受けた光信号を、光信号のままで遅れ歪を矯正して、波形整形することができる。

【0023】上述した説明を式で示すと以下の通りである。入力側光導波路1, 2と出力側光導波路3, 4の電界をそれぞれ E_i ($i=1\sim 4$)と表わすと、出力側光導波路3, 4の電界 E_3, E_4 は式(4)で表わすことができる。

【0024】

【数4】

$$\begin{pmatrix} E_3 \\ E_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{j}{\sqrt{2}} \\ -\frac{j}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{pmatrix} \left\{ \begin{pmatrix} \exp(-j\beta\Delta L_2) & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{j}{\sqrt{2}} \\ -\frac{j}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{pmatrix} \right. \\ \left. \cdot \begin{pmatrix} \exp(-j\beta\Delta L_1) & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \right\}^N \begin{pmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{j}{\sqrt{2}} \\ -\frac{j}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} E_1 \\ E_2 \end{pmatrix}$$

…式(4)

【0025】但し、式(4)中で、 β は導波路の伝搬定数、 N は2本の入力ポートの長さが互いに異なり且つ2本の出力ポートの長さが互いに異なる方向性結合器の縦続段数を表わしている。

【0026】今、入力側光導波路1から光信号を入射し、出力側光導波路4から光信号を出射させるとすると、式(4)における入力側光導波路1, 2の電界 ※30

$$\begin{pmatrix} E_1 \\ E_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix}$$

…式(5)

【0028】

$$H(\omega) = E_4$$

★ ★【数6】

$$= -j \exp(-jN\phi) \left\{ \cos N\theta + j \frac{\sin \phi}{\sqrt{2}} \cdot \frac{\sin N\theta}{\sin \theta} \right\}$$

…式(6)

【0029】但し、式(6)中で、 ω は光の角周波数であり、 ψ, ϕ, θ はそれぞれ式(7), (8), (9)で与えられる。

☆

$$\psi = \beta (\Delta L_1 + \Delta L_2) / 2$$

…式(7)

【0031】

◆

◆【数8】

$$\phi = \beta (\Delta L_2 - \Delta L_1) / 2$$

…式(8)

【0032】

*

*【数9】

$$\theta = \cos^{-1} (2^{-1/2} \cos \psi)$$

…式(9)

【0033】従って式(6)より、光分散等化器の強度 50 透過率 T は式(10)のように表わされ、相対遅延時間

※ E_1, E_2 について式(5)とおくことができる。従って式(4)より、入力側光導波路1から出力側光導波路4への伝達関数 $H(\omega)$ は式(6)のように表わすことができる。

【0027】

【数5】

τ は式(11)のように表わされる。

【0034】

*【数10】

*

$$T = |H(\omega)|^2 \\ = \cos^2 N\theta + \frac{\sin^2 \phi}{2} \cdot \frac{\sin^2 N\theta}{\sin^2 \theta} \quad \cdots \text{式 (10)}$$

【0035】

※ ※【数11】

$$\tau = - \frac{d}{d\omega} \left[\arg \{H(\omega)\} \right] \\ = - I_m \left\{ \frac{H(\omega)}{H(\omega)} \right\} \\ = - \left[\left\{ N \sin \phi \sin \phi + \sin N\theta \cos N\theta \left(\sqrt{2} \frac{\phi}{\theta} \sin \theta \cos \phi \right. \right. \right. \\ \left. \left. \left. - \frac{\cos \theta}{\sin \theta} \sin \phi \sin \phi \right) \right\} / (4 \sin^2 \theta \cos^2 N\theta \right. \\ \left. + 2 \sin^2 \phi \sin^2 N\theta) \right] \times (\Delta L_1 + \Delta L_2) \frac{d\beta}{d\omega} \quad \cdots \text{式 (11)}$$

【0036】図2は、 $A=7504$ 、 $B=2496$ ($\Delta L_1=3.877\text{mm}$ 、 $\Delta L_2=1.289\text{mm}$)、2本の入力ポートの長さが異なり且つ2本の出力ポートの長さが異なる方向性結合器の縦続接続段数が $N=12$ 、導波路の屈折率が $n=1.5$ の場合の光分散等化器の特性として、(a)に強度透過率特性を示し、(b)に相対遅延時間特性を示したものである。この光分散等化器は、縦続接続段数 N が4の整数倍($N=12=4 \times 3$)の場合である。図2から、波長 $\lambda_0=1.55\mu\text{m}$ を中心として9GHzの周波数範囲にわたって強度透過率 T が0.95となり、光分散等化器が構成できることが判る。

【0037】図3は、比較例として、2本の入力ポートの長さが異なり且つ2本の出力ポートの長さが異なる方向性結合器の縦続接続段数が $N=13$ の場合の光分散等化器の特性を示したものである。図3(a)は強度透過率特性を表わし、図3(b)は相対遅延時間特性を表わしている。これは $N=13=4 \times 3 + 1$ 、即ち縦続接続段数を4の整数倍に1を足した数とした場合であるが、縦続接続段数以外のパラメータ値は、図2の場合と同じである。図2との比較より判るように、図3即ち $N=13$ の場合は、強度透過率 T が0.95以上となる周波数範囲が5GHzと狭くなり、強度透過特性が劣化している。このため、この光分散等化器に6GHz以上の周波数で高速変調された光信号を通すと、歪が発生する。

【0038】図4は、強度透過率が0.95以上となる周波数帯域 Δf (GHz)と、2本の入力ポートの長さが互

いに異なり且つ2本の出力ポートの長さが互いに異なる方向性結合器の縦続接続段数 N との関係を、1段から21段の範囲($N=1 \sim 21$)にわたり求めたものを示す。なお、この場合も、縦続接続段数以外のパラメータ値は、図2の場合と同じである。図4から判るように、方向性結合器の縦続接続段数 N が4の整数倍の数の場合、並びに4の整数倍から1を引いた数の場合に、強度透過率が0.95以上となる周波数範囲 Δf が広くなり、高性能の光分散等化器を得られることができる。

【0039】次に、上述した実施例の光分散等化器を石英系ガラス導波路を用い製造したのでこれを説明する。まず、Si基板上に火炎堆積法によって SiO_2 の下部クラッド層を堆積し、次に GeO_2 をドーバントとして添加した SiO_2 ガラスのコア層を堆積した後に、電気炉で透明ガラス化した。次に、図1に示したようなパターンを用いてコア層をエッチングしてコア部分を作成し、最後に、再び SiO_2 の上部クラッド層を堆積し、更に所定の光導波路上に薄膜ヒータ及びその電気配線を蒸着した。このような製造方法により、光導波路の比屈折率差 $\Delta n=1.5\%$ 、コア寸法 $D=4.5\mu\text{m} \times 4.5\mu\text{m}$ 、曲げ半径 $R=2\text{mm}$ 、方向性結合器の長さの長い入力ポートと長さの短い入力ポートとの光路長差 $\Delta L_1=3.877\text{mm}$ 、方向性結合器の長さの長い出力ポートと長さの短い出力ポートとの光路長差 $\Delta L_2=1.289\text{mm}$ 、2本の入力ポートの長さが互いに異なり且つ2本の出力ポートの長さが互いに異なる方向性結合器の縦続接続段数 $N=12$ という各パラメータ値で、光分

30

40

50

散等化器を作成した。この場合、光分散等化器は、3 dB方向性結合器(図1中の符号5, 6, 7, 8, 9, 10で示すもの)の結合率が40%から60%の範囲で変化(劣化)しても、光分散等化特性がさほど劣化しないことを確認した。

【0040】なお、光分散等化器は、上述したガラス導波路に限らず、強誘電体光導波路及びポリマー光導波路等を用いて実現することができることは、明白である。

【0041】<請求項2の発明の実施例>図5は請求項2の発明の実施例を示し、2本の入力ポートの長さが互いに異なり且つ2本の出力ポートの長さが互いに異なる方向性結合器6, 7, 8, 9を、長さの長い部分は長い部分どうして且つ長さの短い部分は短い部分どうして多段に縦続接続し、その前段に2本の出力ポートの長さが等しい方向性結合器5を接続し且つ後段に2本の入力ポートの長さが等しい方向性結合器10を接続して、多段の非対称マッハツェンダ型干渉計を構成する光回路において、縦続接続段数を4とし、光回路上の適当な位置で、非対称マッハツェンダ型干渉計の2本のアームそれぞれに弱い光結合を起す程度に他の光導波路27, 28, 29, 30, 31, 32をモニター用ポートとして近接させることによって方向性結合器33, 34, 35, 36, 37, 38を構成し、更にその方向性結合器の構成に用いた2本の光導波路どうしを互いに光結合を起す程度に近接させて方向性結合器39, 40, 41を構成することによって、光回路中で光分散特性のモニター部分を構成し、制御性を良くしたものである。

【0042】図5において、方向性結合器6, 7, 8, 9は結合率50%の3 dB方向性結合器であり、それぞれ、長さの長い入力ポート11, 12, 13, 14と、長さの短い入力ポート15, 16, 17, 18と、長さの長い出力ポート19, 20, 21, 22と、長さの短い出力ポート23, 24, 25, 26とを有する。また、方向性結合器5も結合率50%の3 dB方向性結合器であり、各入力ポートには入力側光導波路1, 2が接続されている。更に、方向性結合器10も結合率50%の3 dB方向性結合器であり、各出力ポートには出力側光導波路3, 4が接続されている。一方、方向性結合器33, 34, 35, 36, 37, 38は結合率が小さい低結合率方向性結合器である。また、方向性結合器39, 40, 41は結合率50%の3 dB方向性結合器であり、それぞれ出力用光導波路42, 43, 44, 45, 46, 47が接続されている。なお、各入出力ポートのうち、11, 12, 13, 14, 19, 20, 21, 22, 27, 29, 31の各光導波路上部にはヒータ部分48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58を設置してある。

【0043】ここで、前述した如く、(i) ΔL_1 を方向性結合器6~9の長さの長い入力ポート11, 12, 13, 14と長さの短い入力ポート15, 16, 17, 1

8との光路長差、 ΔL_2 を方向性結合器6~9の長さの長い出力ポート19, 20, 21, 22と長さの短い出力ポート23, 24, 25, 26との光路長差、 f_c を分散等化の中心光周波数、 f_L を分散等化の下限の光周波数、 f_H を分散等化の上限の光周波数、 A, B を偶数、 C を真空中の光速、 n を導波路の屈折率、とすると、前出の式(1), (2)が満たされる場合、(ii)2つの方向性結合器5と6を結ぶ最初の非対称マッハツェンダ型干渉計の2本のアームの光路長差は ΔL_1 となり、(iii)2つの方向性結合器9と10を結ぶ最後の非対称マッハツェンダ型干渉計の2本のアームの光路長差は ΔL_2 となり、(iv)方向性結合器6と7, 7と8, 8と9を結ぶ非対称マッハツェンダ型干渉計の光路長差 ΔL は ΔL_1 と ΔL_2 の和となり、 $A+B=2M$ (M は整数)とおくと、式(1)及び(2)より、前出の式(3)のように表わされる。

【0044】従って、前述と同様式(1), (2)及び(3)より、今、図5の入力側光導波路1から光を入射した場合を考えると、下限光周波数 f_L の成分はポート11あるいは15→ポート19→ポート12→ポート20あるいは24→ポート13あるいは17→ポート21→ポート14→ポート22あるいは26という順の経路を通り、最後には出力側光導波路4に至る。また、上限光周波数 f_H の成分はポート11あるいはポート15→ポート23→ポート16→ポート20あるいはポート24→ポート13あるいはポート17→ポート25→ポート18→ポート22あるいは26という順の経路を通り、最後には出力側光導波路4に至る。このことは、前述した通り、上限光周波数 f_H の成分の方が、下限光周波数 f_L の成分よりも、アームの光路長差の総計 $2\Delta L$ に対応した群遅延時間 τ_H だけ多くの遅延を受けることを示している。また、 f_H と f_L の間の光周波数 f の成分は、下限光周波数 f_L の成分よりも、 $\tau_H (f - f_L) / (f_H - f_L)$ だけ多くの遅延を受ける。このため、図5の光分散等化器により、分散を有する光ファイバを伝播して歪を受けた光信号を、光信号のままで遅れ歪を矯正して、波形整形することができる。

【0045】図6は、 $A=7504$ 、 $B=2496$ ($\Delta L_1=3.877\text{ mm}$ 、 $\Delta L_2=1.289\text{ mm}$)、2本の入力ポートの長さが異なり且つ2本の出力ポートの長さが異なる方向性結合器の縦続接続段数が $N=12$ 、導波路の屈折率が $n=1.5$ の場合の光分散等化器の特性として、(a)に強度透過率特性を示し、(b)に相対遅延時間特性を示したものである。この光分散等化器は、縦続接続段数 N が4の整数倍($N=12=4\times 3$)の場合である。図6から、波長 $\lambda_c=1.55\mu\text{m}$ を中心として9 GHzの周波数範囲にわたって強度透過率 T が0.95となり、光分散等化器が構成できることが判る。

【0046】ところで、非対称マッハツェンダ型干渉計

の2本のアームの光路長差は、光導波路の製作誤差により、設計値からずれることがある。図7に、各アームの光路長差が図6における理想的な値よりも波長 λ の範囲でランダムにばらついている場合の光分散等化器の特性の一例を示す($\Delta L_1 - \lambda \sim \Delta L_1 + \lambda$, $\Delta L_2 - \lambda \sim \Delta L_2 + \lambda$)。但し、図7(a)は強度透過率特性を、図7(b)は相対遅延時間特性を表わしている。光路長差以外のパラメータ値は図6の場合と同じである。図7と図6を比較すると、光路長差が設定値からずれると、強度透過率T、相対遅延時間 τ いずれの特性も大きく劣化することが判る。

【0047】このような特性劣化を解消するためには、図5に示したヒータ部分48~58を用いて熱光学効果によって光路長差を調整すれば良い。ところが、この調整を出力側光導波路3または4の出力だけを用いて行う場合は、調整対象のヒータ数が多くなり、調整が非常に困難となる。

【0048】そこで、図5に例示した光分散等化器では、結合率が数%と低結合率方向性結合器33と34

(または35と36または37と38)、長さの等しいモニター用ポート27と28(または29と30または31と32)、3dB方向性結合器39(または40または41)並びにモニター用出力光導波路42と43(または44と45または46と47)からなる各光分散特性評価用モニター部分を備えているので、これらのモニター用出力光導波路43、45、47更には光分散等化器の出力側光導波路4を順番に用いてヒータ部分を2個ずつ順次調節することにより、光路長差を容易に設計値に調整することができる。ここで、低結合率方向性結合器33~38を用いることにより、光分散等化器の素子全体の損失を極力小さくしている。なお、ヒータ部分のうち、56、57及び58はモニター用ポート27~32の長さを、熱光学効果を用いて等しくなるように調整するためのものである。

【0049】図5に示した実施例では、2本の入力ポートの長さが互いに異なり且つ2本の出力ポートの長さが互いに異なる方向性結合器6~9の各1段に対して1つのモニター部分を設置しているが、これは一例にすぎず、光導波路設計あるいは光路長差調整の都合により、モニター部分に対する方向性結合器の段数は任意の値で良い。

【0050】また、図5ではモニター用ポート28、30、32の下側の部分が他の光導波路に交差しているが、電気配線と異なり、光導波路の場合には、交差が存在してもクロストークや損失は極めて小さい(例えば、文献:T.Kominato他による“Loss characteristics of intersecting silica-based waveguides” OEC' 92, pap.16B 4-1, PP. 138-139, 1992参照)ので、悪影響は及ぼさない。

【0051】<請求項3の発明の実施例>図8は請求項

3の発明の実施例を示し、2本の入力ポートの長さが互いに異なり且つ2本の出力ポートの長さが互いに異なる方向性結合器6、7、8、9を、長さの長い部分は長い部分どうして且つ長さの短い部分は短い部分どうして多段に縦続接続し、その前段に2本の出力ポートの長さが等しい方向性結合器5を接続し且つ後段に2本の入力ポートの長さが等しい方向性結合器10を接続して、多段の非対称マッハツェンダ型干渉計を構成する光回路において、縦続接続段数を4とし、光回路上の適当な位置で、非対称マッハツェンダ型干渉計の2本のアームと他の2本の光導波路27、28(29、30、31、32)とを用いて一方の光導波路上にヒータを付着したマッハツェンダ型干渉計を2つ構成し、その2つのマッハツェンダ型干渉計の4本の出力ポートのうち非対称マッハツェンダ型干渉計の構成に用いられていない2本のポート59c、60d(61c、62d、63c、64d)どうしを互いに光結合を起す程度に近接させて方向性結合器39(40、41)を構成することによって、光回路中での光分散等化特性のモニター部分を構成し、制御性を良くしたものである。

【0052】図8において、方向性結合器6、7、8、9は結合率50%の3dB方向性結合器であり、それぞれ、長さの長い入力ポート11、12、13、14と、長さの短い入力ポート15、16、17、18と、長さの長い出力ポート19、20、21、22と、長さの短い出力ポート23、24、25、26とを有する。また、方向性結合器5も結合率50%の3dB方向性結合器であり、各入力ポートには入力側光導波路1、2が接続されている。更に、方向性結合器10も結合率50%の3dB方向性結合器であり、各出力ポートには出力側光導波路3、4が接続されている。また、方向性結合器39、40、41も結合率50%の3dB方向性結合器であり、それぞれモニター用出力光導波路42、43、44、45、46、47が接続されている。一方のアーム上にヒータを付けた2つのマッハツェンダ型干渉計は後述の如く結合率可変の方向性結合器59、60、61、62、63、64を構成し、それぞれ入出力ポート59a、59b、59c、59d; 60a、60b、60c、60d; 61a、61b、61c、61d; 62a、62b、62c、62d; 63a、63b、63c、63d; 64a、64b、64c、64dを有する。各光導波路11、12、13、14、19、20、21、22、27、29、31の上部にはそれぞれ光路長差調整用にヒータ部分48、49、50、51、52、53、54、55、56、57、58が設置されている。

【0053】図8においては、光分散等化特性評価用モニター部分として、結合率可変の方向性結合器59と60(または61と62、または63と64)、長さの等しいモニター用ポートとしての光導波路27と28(ま

15

たは29と30、または31と32)、3dB方向性結合器39(または40、または41)、並びにモニター用出力光導波路42と43(または44と45、または46と47)からなるものを構成してある。

【0054】ここで、図9により、結合率可変の方向性結合器59、60、61、62、63、64の構成を説明する。図9において、結合率可変の方向性結合器は、入力側光導波路65、66と、出力側光導波路67、68と、方向性結合器69、70と、光導波路71、72と、光導波路71の上部に設置した結合率調整用のヒータ*10

$$I_{ss}/I_{ss} = 4\kappa(1-\kappa)\cos^2(\Delta\psi/2) \quad \dots \text{式(12)}$$

【0056】ただし、 κ は方向性結合器69、70の結合率、 $\Delta\psi$ は下のアームと上のアームとの位相差である。

【0057】そこで、ヒータ部分73の熱光学効果により、光導波路71の屈折率を変化させて $\Delta\psi$ の値を変化※

$$0 \leq I_{ss}/I_{ss} \leq 4\kappa(1-\kappa)$$

【0059】例えば κ が0.5(69と70が3dB方向性結合器)の場合、式(13)より、 I_{ss}/I_{ss} は0から1までの任意の値をとることが可能になる。このことは、ポート66から69についても同様である。そのため、結合率可変の方向性結合器を6個用いて、ポート65と59a(または60a、61a、62a、63a、64a)、ポート66と59b(または60b、61b、62b、63b、64b)、ポート67と59c(または60c、61c、62c、63c、64c)、ポート68と59d(または60d、61d、62d、63d、64d)とを接続することにより、モニター用ポート27、28、29、30、31、32に可変の光出力を取り出すことができる。従って、モニター用出力光導波路42、43、44、45、46、47にも可変の光出力を取り出すことができる。

【0060】従って、非対称マッハツェンダ型干渉計の光路長差のヒータ部分48~55による調整を、図5の場合と同じく、モニター用出力光導波路43、45、47と出力側光導波路4を用いて行う際には、調整に用いるモニター用出力導波路の出力光のみを大きくして調整を行い易くし、それ以外の場合にはモニター用出力光導波路の出力をゼロとすることにより、モニター部分の付加による素子の光損失の増加をゼロにすることができる。

【0061】<請求項4の発明の実施例>図10は請求項4の発明の実施例を示し、2本の入力ポートの長さが互いに異なり且つ2本の出力ポートの長さが互いに異なる方向性結合器6、7、8、9を、長さの長い部分は長い部分どうしで且つ長さの短い部分は短い部分どうしで多段に縦続接続し、その前段に2本の出力ポートの長さが等しい方向性結合器5を接続し且つ後段に2本の入力ポートの長さが等しい方向性結合器6を接続して、多段の非対称マッハツェンダ型干渉計を構成する光回路にお

16

*タ部分73とから構成されている。ポート65から68への入出力特性 I_{ss}/I_{ss} は、2つの方向性結合器69、70の結合率が同一であると仮定すると、次式(12)で表わされる。例えば、N.Takato他による文献“Silica-based single-mode waveguides on silicon and their application to guided-wave optical interferometers” IEEE/OSA J. Lightwave Technol., Vol. 1.6, no. 6, PP. 1003~1010, 1988参照。

【0055】

【数12】

※させることによって、式(12)より、入出力特性 I_{ss}/I_{ss} は、次式(13)で示される値をとり得る。

【0058】

【数13】

...式(13)

いて、縦続接続段数を4とし、光回路上の適当な位置で、非対称マッハツェンダ型干渉計の2本のアームと長さの等しい他の2本の光導波路27、28(29、30、31、32)とを用いて一方の光導波路上にアモルファスシリコンを付着したマッハツェンダ型干渉計74、75(76、77、78、79)を2つ構成し、その2つのマッハツェンダ型干渉計の構成に用いられていない2本のポートどうしを互いに光結合を起す程度に近接させて方向性結合器39(40、41)を構成することにより、光回路中での光分散等化特性のモニター部分を構成し、制御性を良くしたものである。

【0062】図10において、方向性結合器6、7、8、9は結合率50%の3dB方向性結合器であり、それぞれ、長さの長い入力ポート11、12、13、14と、長さの短い入力ポート15、16、17、18と、長さの長い出力ポート19、20、21、22と、長さの短い出力ポート23、24、25、26とを有する。また、方向性結合器5も結合率50%の3dB方向性結合器であり、各入力ポートには入力側光導波路1、2が接続されている。更に、方向性結合器10も結合率50%の3dB方向性結合器であり、各出力ポートには出力側光導波路3、4が接続されている。また、方向性結合器39、40、41も結合率50%の3dB方向性結合器であり、それぞれモニター用出力光導波路42、43、44、45、46、47が接続されている。一方のアーム上にアモルファスシリコンを付けた2つのマッハツェンダ型干渉計は後述の如く結合率可変の方向性結合器74、75、76、77、78、79を構成し、それぞれ入出力ポート74a、74b、74c、74d; 75a、75b、75c、75d; 76a、76b、76c、76d; 77a、77b、77c、77d; 78a、78b、78c、78d; 79a、79b、79c、79dを有する。各光導波路11、12、13、1

4, 19, 20, 21, 22, 27, 29, 31の上部にはそれぞれ光路長差調整用にヒータ部分48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58が設置されている。

【0063】図10においては、光分散等化特性評価用モニター部分として、結合率可変の方向性結合器74と75（または76と77、または78と79）、長さの等しいモニター用ポートとしての光導波路27と28

（または29と30、または31と32）、3dB方向性結合器39（または40、または41）、並びにモニター用出力光導波路42と43（または44と45、または46と47）からなるものを構成してある。

【0064】ここで、図11により、結合率可変の方向性結合器74, 75, 76, 77, 78, 79の構成を説明する。図11において、結合率可変の方向性結合器は、入力側光導波路65, 66と、出力側光導波路67, 68と、方向性結合器69, 70と、光導波路71, 72と、光導波路71の上部にスパッタリング法により付着した結合率調整用のアモルファスシリコン部分80とから構成されている。アモルファスシリコン部分80をレーザ光を用いてトリミングを行うことにより、光導波路71上加わる応力を変え、屈折率を可変にすることができる。そこで、図9の場合と同様、ポート65から68への入出力特性 I_{os}/I_{is} は、2つの方向性結合器69, 70の結合率が同一であると仮定すると、前式(12)で表わされる。即ち、光導波路71の屈折率を変化させて Δn の値を変化させることによって、式(12)より、入出力特性 I_{os}/I_{is} は、前式(13)で示される値をとり得る。

【0065】例えば n が0.5（69と70が3dB方向性結合器）の場合、式(13)より、 I_{os}/I_{is} は0から1までの任意の値をとることが可能になる。このことは、ポート66から69についても同様である。そのため、結合率可変の方向性結合器を6個用いて、ポート65と74a（または75a, 76a, 77a, 78a, 79a）、ポート66と74b（または75b, 76b, 77b, 78b, 79b）、ポート67と74c（または75c, 76c, 77c, 78c, 79c）、ポート68と74d（または75d, 76d, 77d, 78d, 79d）とを接続することにより、モニター用ポート27, 28, 29, 30, 31, 32に可変の光出力を取り出すことができる。従って、モニター用出力光導波路42, 43, 44, 45, 46, 47にも可変の光出力を取り出すことができる。

【0066】従って、非対称マツハツェンダ型干渉計の光路長差のヒータ部分48~55による調整を、図5の場合と同じく、モニター用出力光導波路43, 45, 47と出力側光導波路4を用いて行う際には、調整に用いるモニター用出力導波路の出力光のみを大きくして調整を行い易くし、それ以外の場合にはモニター用出力光導

波路の出力をゼロとすることにより、モニター部分の付加による素子の光損失の増加をゼロにすることができ。調整終了後等、アモルファスシリコン部分80が不要になった場合には、エッチングによって除去することが可能である。

【0067】次に、上述した図5, 図8, 図10の各実施例の光分散等化器を石英系ガラス導波路を用い製造したので、これを説明する。まず、Si基板上に火炎堆積法によって SiO_2 の下部クラッド層を堆積し、次に GeO_2 をドーバントとして添加した SiO_2 ガラスのコア層を堆積した後に、電気炉で透明ガラス化した。次に、図5, 図8, 図10に示したようなパターンを用いてコア層をエッチングしてコア部分を作成し、最後に、再び SiO_2 の上部クラッド層を堆積し、更に所定の光導波路上に薄膜ヒータ及びその電気配線を蒸着した。また、所定の光導波路上にアモルファスシリコンをスパッタリング法で付着した。このような製造方法により、光導波路の比屈折率差 $\Delta n = 1.5\%$ 、コア寸法 $D = 4.5\mu m \times 4.5\mu m$ 、曲げ半径 $R = 2mm$ 、方向性結合器の長さの長い入力ポートと長さの短い入力ポートとの光路長差 $\Delta L_1 = 3.877mm$ 、方向性結合器の長さの長い出力ポートと長さの短い出力ポートとの光路長差 $\Delta L_2 = 1.289mm$ 、2本の入力ポートの長さが互いに異なり且つ2本の出力ポートの長さが互いに異なる方向性結合器の縦続接続段数 $N = 12$ という各パラメータ値で、光分散等化器を作成し、モニター部分を2本の入力ポートの長さが異なり且つ2本の出力ポートの長さが異なる方向性結合器の3段当り1つ付加した。

【0068】なお、光分散等化器は、上述したガラス導波路に限らず、強誘電体光導波路及びポリマー光導波路等を用いて実現することができることは、明白である。

【0069】

【発明の効果】以上、実施例に基づいて具体的に説明したように、本発明の光分散等化器には次のような効果がある。

(1) 2本の入力ポートの長さが異なり且つ2本の出力ポートの長さが異なる方向性結合器の縦続接続段数を4の整数倍の数、あるいは4の整数倍から1を引いた数にすることによって、強度透過特性が大きくなる周波数範囲を広げることができる。従って、光信号を電気信号に変換することなく高速変調信号において歪なしに光ファイバの分散を相殺することができ、大容量・長距離光通信において大きな利点を有する。

(2) 光回路上の適当な位置で光分散等化特性測定用のモニター部分を構成することによって、光分散等化特性を設計値通りに容易に調節することができる。従って、光信号を電気信号に変換することなく光ファイバの分散を相殺することができ、大容量・長距離光通信において大きな利点を有する。

【図面の簡単な説明】

【図1】請求項1の発明の一実施例の光分散等化器の構成図。

【図2】2本の入力ポートの長さが異なり且つ2本の出力ポートの長さが異なる方向性結合器の縦続接続段数が12の場合の光分散等化器の分散等化特性の計算例を示す図。

【図3】2本の入力ポートの長さが異なり且つ2本の出力ポートの長さが異なる方向性結合器の縦続接続段数が13の場合の光分散等化器の分散等化特性の計算例を示す図。

【図4】強度透過率が0.95以上となる周波数範囲と、2本の入力ポートの長さが異なり且つ2本の出力ポートの長さが異なる方向性結合器の縦続段数との関係を示す図。

【図5】請求項2の発明に関する一実施例の光分散等化器の構成図。

【図6】光分散等化器の分散等化特性の計算例を示す図。

【図7】非対称マッハツェンダ型干渉計の光路長差が設計値から波長 λ の範囲でランダムにばらついている場合の光分散等化器の計算例を示す図。

【図8】請求項3の発明に関する一実施例の光分散等化器の構成図。

【図9】マッハツェンダ型干渉計の一方のアーム上にヒータをつけることによって構成した結合率可変の方向性結合器の構成図。

【図10】請求項4の発明に関する一実施例の光分散等化器の構成図。

【図11】マッハツェンダ型干渉計の一方のアーム上にアモルファスシリコンを付けることによって構成した結 30

合率可変の方向性結合器の構成図。

【図12】従来のマイクロ波ストリップラインを用いた分散等化器の構成を示す図。

【図13】マイクロ波ストリップラインの伝搬遅延特性を示す図。

【符号の説明】

1, 2 入力側光導波路

3, 4 出力側光導波路

5, 6, 7, 8, 9, 10, 39, 40, 41 結合率50%のdB方向性結合器

11, 12, 13, 14 方向性結合器の長さの長い入力ポート

15, 16, 17, 18 方向性結合器の長さの短い入力ポート

19, 20, 21, 22 方向性結合器の長さの長い出力ポート

23, 24, 25, 26 方向性結合器の長さの短い出力ポート

27, 28, 29, 30, 31, 32 光導波路

33, 34, 35, 36, 37, 38 低結合率方向性結合器

42, 43, 44, 45, 46, 47 出力光導波路

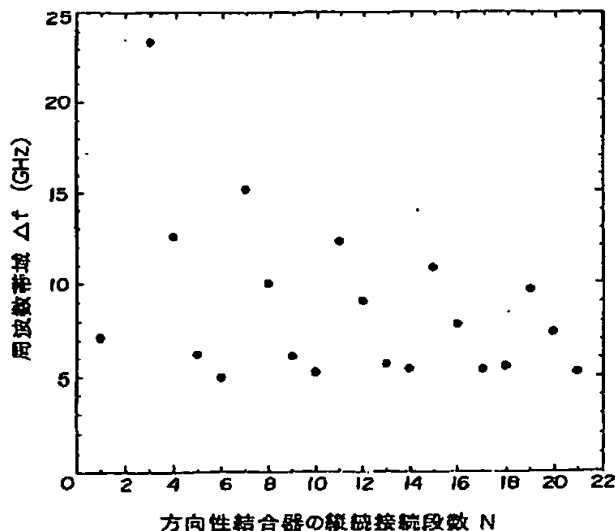
48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 73 ヒータ部分

59, 60, 61, 62, 63, 64 ヒータによる結合率可変方向性結合器

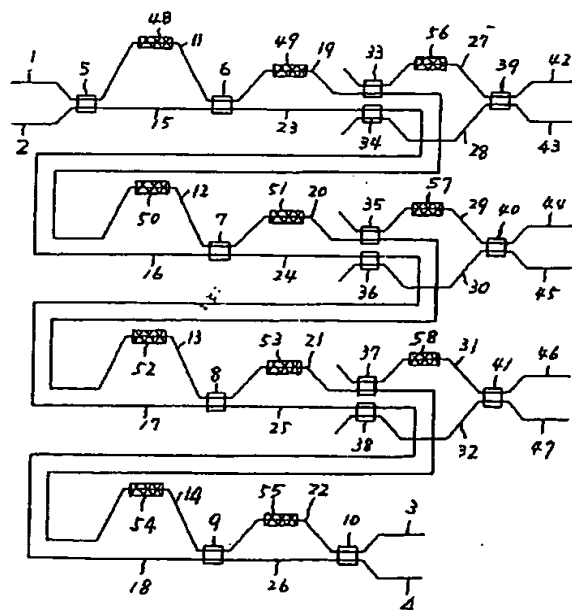
74, 75, 76, 77, 78, 79 アモルファスシリコンによる結合率可変方向性結合器

80 アモルファスシリコン部分

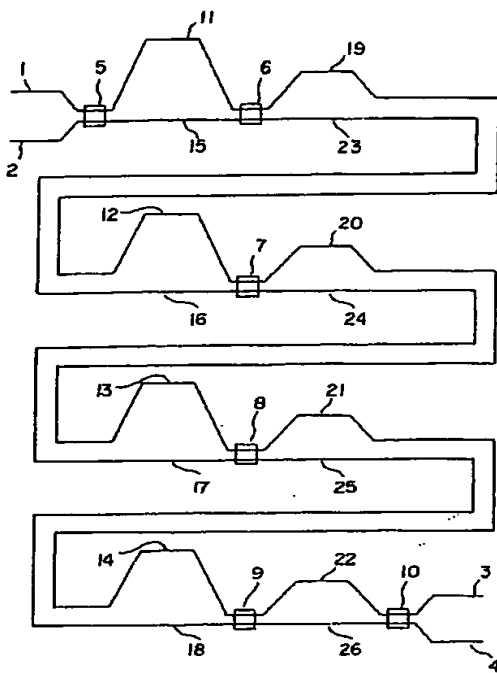
【図4】



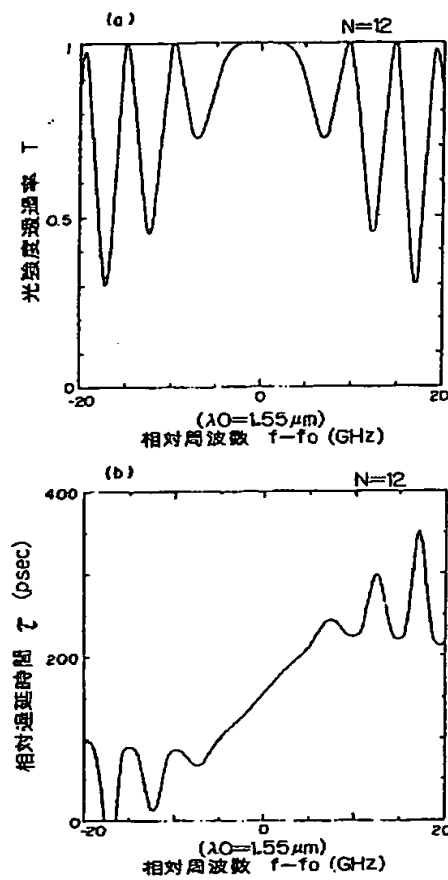
【図5】



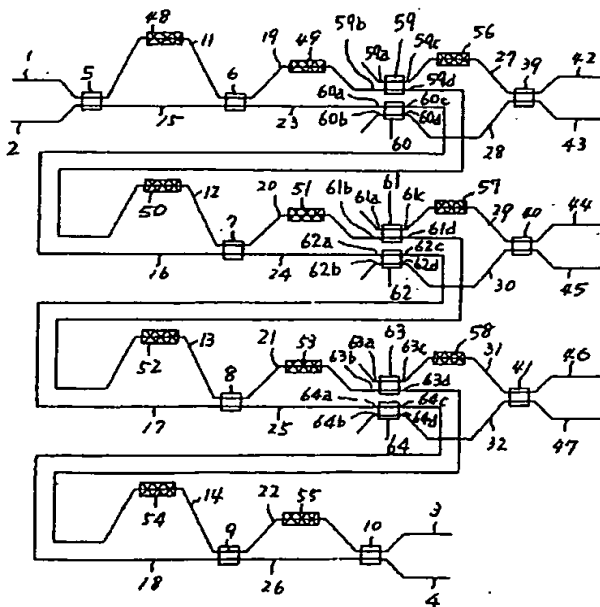
【図1】



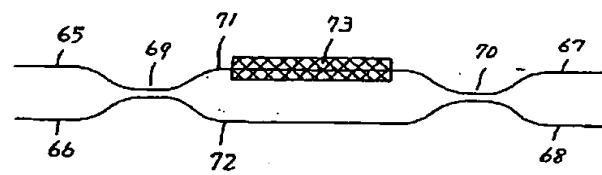
【図2】



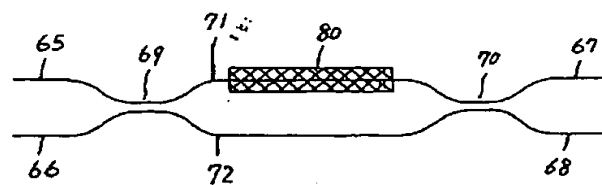
【図8】



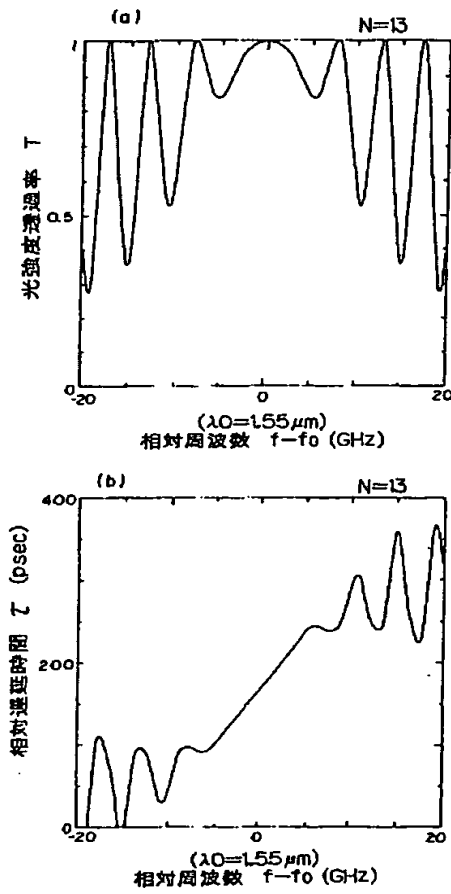
【図9】



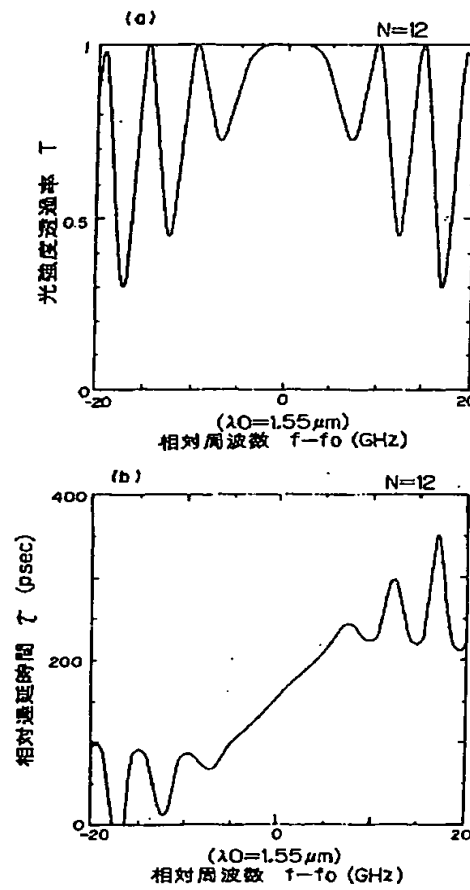
【図11】



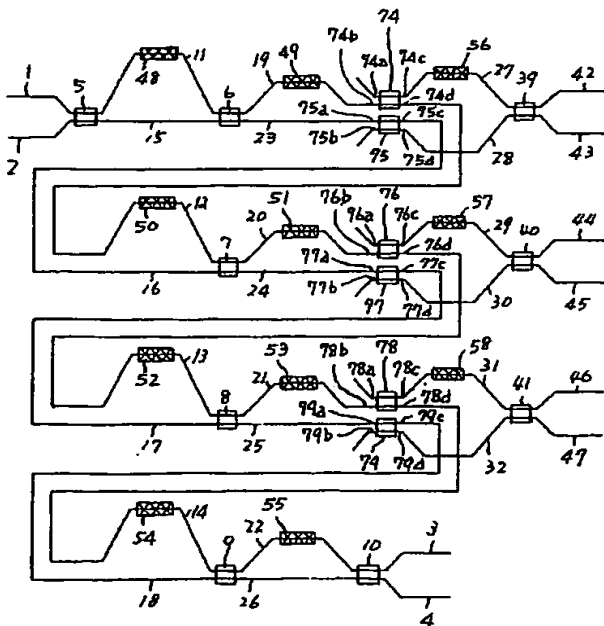
【図3】



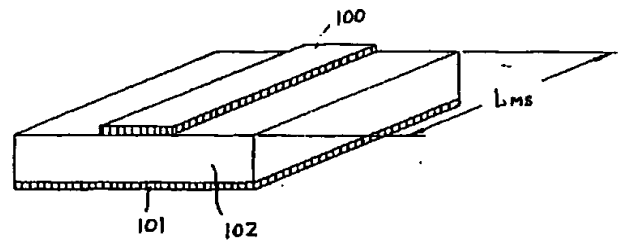
【図6】



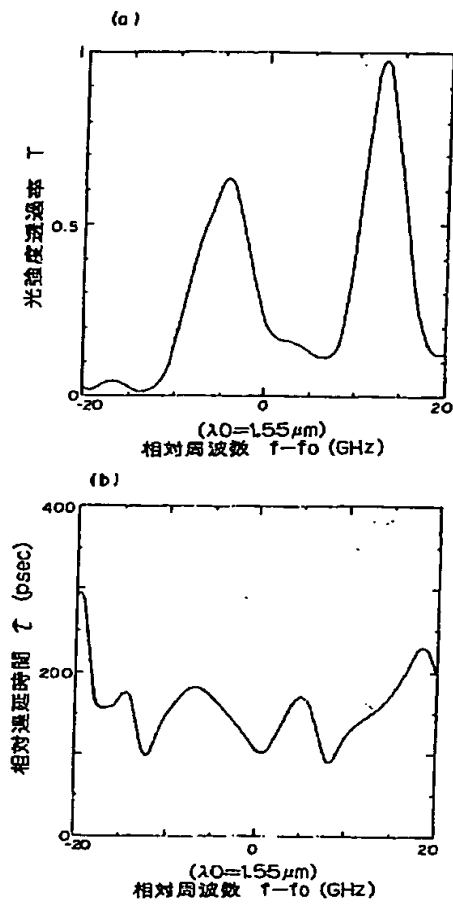
【図10】



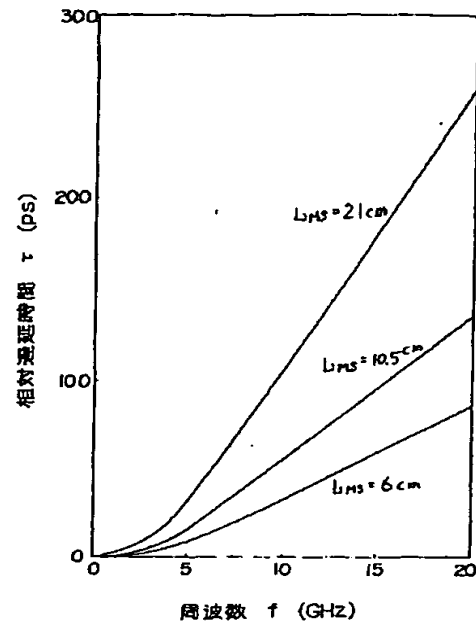
【図12】



【図7】



【図13】



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.